

# 多目的ダムの弾力的運用による 小水力発電の可能性に関する研究

## STUDY ON MAINTAINING STORAGE CAPACITY FOR SMALL-SCALE HYDROPOWER BY FLEXIBLE DAM OPERATION

林下直樹<sup>1</sup>・中津川誠<sup>2</sup>・臼谷友秀<sup>3</sup>

Naoki HAYASHISHITA, Makoto NAKATSUGAWA, and Tomohide USUTANI

<sup>1</sup>学生会員 室蘭工業大学大学院工学研究科 (〒050-0071 室蘭市水元町57-8)

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 室蘭工業大学大学院工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

<sup>3</sup>正会員 一般財団法人 日本気象協会 北海道支社 (〒064-8555 札幌市中央区北4条西23丁目)

This study discusses the feasibility of maintaining storage capacity for small-scale hydropower generation by operating flood control dams flexibly. Currently in Japan, shortages in electrical supply have been a concern. It is hoped that this study will mitigate such shortages.

For flexible dam operation, it is necessary to recover the dam's flood control capacity by releasing dam water ahead of predicted flooding. To obtain water for small-scale hydropower, a flexible dam operation using the cumulative forecasted rainfall for pre-releasing was considered. We examined such release by using the flood data of previous years. It was found that recovering flood control capacity of a dam is possible before the start of storing flood water. It was found that by using appropriate dam operation, there is a possibility for securing dam water for small-scale hydropower.

**Key Words:** *small scale hydropower, flexible dam operation, pre-releasing, forecasted rainfall energy measures*

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震並びに福島第一原子力発電所事故により、代替エネルギーの発案が求められている。太陽光発電や風力発電が注目されているが、これらは安定供給の面で課題がある。本研究は、再生可能エネルギーの中でも安定した電力供給が可能な小水力発電に着目した。

著者ら<sup>1)</sup>は、北海道の金山ダムにおいて4月～10月に行われている維持放流(流量0.3m<sup>3</sup>/s)を対象として小水力発電の可能性を検討している。既設ダムを利用するため環境負荷、コストの削減が可能であり、また落差を十分に稼ぐことができる利点がある一方で、発電に利用する水量の確保を課題としており、適切な水管理が必要となる。ダム機能の向上に関して、下坂ら<sup>2)</sup>は時々刻々の累積降雨量や流入量から、それ以降ダムに最低限流入する水量を事前放流することで、洪水時に治水機能を向上させることができるという報告をしている。また臼谷ら<sup>3)</sup>は、降水の予測情報を用いてダムへの流入量を予測し、

但し書き操作水位を超えると予想される場合に事前放流を行うことによって但し書き操作を回避可能であるという報告をしている。また同報告では、石狩川流域を対象に、相関係数に着目して予測雨量の精度を検証し、積算予測雨量が長いリードタイムをとった場合でも相関係数が高い値を示すことの他、予測雨量の補正式、予測値に対する実績値の誤差の幅を評価している。

本研究は、これまでほとんど研究事例のないダムの弾力的運用を合理的に判断する方法論について論じたものである。弾力的運用とは、洪水に対する安全性を確保しつつ利水容量の増量を図る運用のことで、これによって小水力発電実施時に見込まれる発電電力量を増加させるかどうかを検討した。洪水に対する安全性の確保には、降水の予測情報を用いた放流操作方法による対策を考える。予測情報には降水短時間予報(Very Short-Range Forecasting of Precipitation:以下VSRF)、領域モデル(Regional Spectral Model:以下RSM)、全球数値モデル(Global Spectral Model:以下GSM)を用いた。手順を以下に示す。

1) 金山ダム流域において、予測値と実績値の相関係

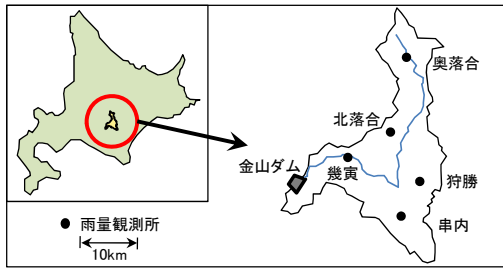


図-1 金山ダム流域と雨量観測所

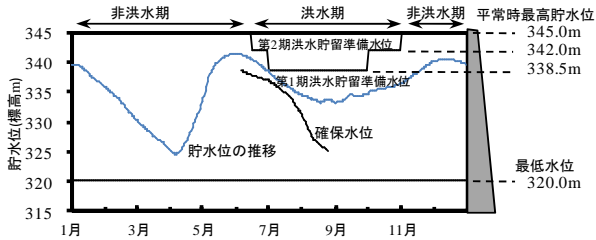


図-2 年間の貯水池運用図

数を評価指標とし、予測雨量の精度を検証した。

- 2) 積算予測雨量に対する積算実績雨量にガンマ分布を適用し、予測値の補正式と予測誤差を算定した。
- 3) 積算予測雨量を用いたダムの事前放流操作方法を提案し、過去の洪水事例に適用して検証を行った。
- 4) 確保した水量を用いて発電電力量の試算を行い、現況の放流状況で発電を行った場合と比較した。

## 2. 対象ダムの概要

解析の対象としたのは図-1に示す金山ダムである。金山ダムは石狩川の支川である空知川の上流に位置し、流域面積470km<sup>2</sup>、洪水調節、灌漑、水道、水力発電の目的をもつ多目的ダムである。年間の貯水池運用を図-2に示す。利水放流の際は水力発電を介して放流されるため、ダム直下から約5.1kmが無水区間・減水区間となっていた。地域からの清流回復の要望に応え、ダムに小放流設備が設置され、1998年から4月1日～10月31日の期間に環境放流（日中6時～19時、放流量0.3m<sup>3</sup>/s）が実施されている。また放流量を増やす方策としてダムの弾力的運用が行われており、2000年から7月1日～9月30日の期間に活用放流（夜間19時～6時、放流量0.3m<sup>3</sup>/s）が実施されている。ダムの弾力的運用とは、下流の河川環境の保全を目的とし、洪水期に設けられている治水容量の一部に流水を貯留し、放流する行為をいう<sup>4)</sup>。洪水前には治水容量を確保するため、事前放流を行う（図-3）。金山ダムでは、旭川地方気象台から上川南部への大雨注意報の発令を基準に事前放流を行っている。

本研究では、小水力発電の発電電力量を増加させるためダムの弾力的運用による活用容量の増量を考える。洪水には気象台による注意報の発令に加え、積算予測雨量に基づく事前放流操作によって対策を行うことを考えた。

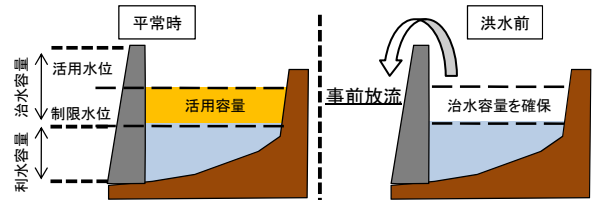


図-3 ダムの弾力的運用の模式図

表-1 解析に用いた降雨事例

年	月/日	日雨量(mm)	観測所
2002	10/02	100	狩勝
2005	08/03	95	奥落合
"	08/22	141	幾寅
"	09/07	127	金山ダム
2006	08/18	181	串内
"	10/07	93	串内
"	10/11	84	串内
2008	08/03	71	奥落合
2010	08/12	81	串内
"	08/24	78	北落合

## 3. 予測雨量の精度

ダム管理において、今後貯水池に流入する水量をより早期に、より正確に予測することは的確な準備作業を行うため重要な情報となる。一般に総雨量と総流出量には対応関係があることから、リードタイムが長く、精度のよい降水の予測が可能であれば、早い段階からダムへの流入量を予測することができる。以下では、降水の予測情報の精度を時系列値、積算値で比較し、また予測値の誤差について算定を行う。

### (1) 基礎資料

用いた降水の予測情報は、気象庁から配信されているVSRFとGPV(Grid Point Value)の一種であるRSMおよびGSMによる予測値である。VSRFは約1kmメッシュ間隔で、今後6時間の1時間ごとの降水量を30分毎に配信している。一方RSM、GSMは、ともに約20kmのメッシュ間隔で、RSMは51時間先まで、GSMは84時間先までの1時間ごとの降水量を予測している。また配信間隔はRSMが9時、21時の1日2回、GSMが3時、9時、15時、21時の1日4回である。VSRFは毎正時のデータを、またGPVはGSMを配信回数の少ないRSMに合わせ、GSM、RSM共に9時、21時に配信されるデータを用いた。また、実績値には金山ダム流域の6地点で観測されているテレメータ雨量を用いた（図-1参照）。

精度評価の対象とした降雨事例は、2002年から2010年の6月～10月の期間で、ダムへの流入が洪水量(80m<sup>3</sup>/s)に達した事例から、流域内の観測所のいずれかで日雨量が70mmを超えた事例とした（表-1）。なお、RSMが運用された期間は2002年から2007年であり、その期間はRSMを、2008年以降はGSMを使用した。VSRFは流域の観測所が含まれる6メッシュを、GPVはメッシュサイズより、流域の観測所が含まれる4メッシュを平均した値を流域平均雨量とした。実績値は6地点で観測されたテ

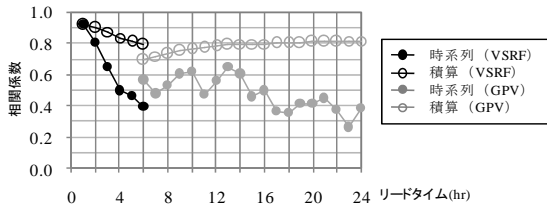


図-4 相関係数とリードタイムの関係

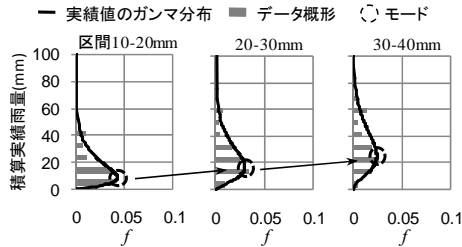


図-5 階級ごとの実績雨量の分布 (VSRF, リードタイム6時間), 棒グラフはデータの概形, ○印はモード。

レメータ雨量を単純平均したものを流域平均雨量とした。

## (2) 積算予測雨量と時系列予測雨量の精度比較

白谷ら<sup>3)</sup>は石狩川流域(流域面積: 14,330km<sup>2</sup>)における検証で, 積算予測雨量が長いリードタイムを確保するのに有効であるとしている。本研究では, 金山ダム流域(流域面積: 470km<sup>2</sup>)という極めてローカルに見た場合の予測精度について評価を行った。

精度の比較には予測値と実績値の相関係数を評価指標とする。VSRF, GPV別に, 時系列値と積算値の相関係数とリードタイムの関係についてまとめたものを図-4に示す。図によると, VSRFの時系列値, 積算値はほぼ直線的に低下しており, GPVは時系列値が変動しながら減少, 積算値は徐々に増加しているということがわかる。また時系列値, 積算値で比較すると, VSRF, GPVともに積算値のほうが相関係数が高いという結果になった。これは予測した降雨波形に誤差が生じて, 積算時間が長いとその時間内で誤差が相殺されるからと考えられる。

以上は白谷らの石狩川流域における検証, 和田ら<sup>5)</sup>の北上川, 利根川等7水系の部分流域における検証でも同様に, 積算予測雨量のリードタイムを24時間とした場合に相関係数0.8近い結果を得ており, 金山ダム流域においても積算予測雨量の精度を確認することができたといえる。このことから, 金山ダム流域でも早い段階から精度よく流入量を予測できる可能性があり, ダム管理において有効な情報であると考えられる。

## (3) 積算雨量の予測値と実績値との対応

積算予測雨量が24時間のリードタイムをとった場合にも実績値との強い相関関係を有することがわかったので, 次に積算予測雨量の補正式の作成と誤差の評価を行う。

### a) 補正式の作成

補正式の作成は, 以下の手順で行った。

1) リードタイム毎に予測雨量を10mmの階級に分ける。

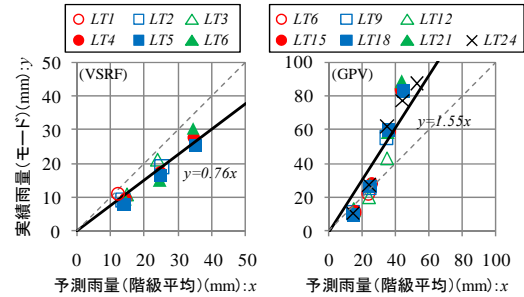


図-6 予測値と実績値の対応。左:VSRF, 右:GPV, 凡例のLTはリードタイム。

- 2) 階級毎に予測雨量に対する実績値にガンマ分布を適用し, 予測雨量の階級平均, 実績値のモードを算出する。
- 3) VSRF, GPV毎に全リードタイム分を相関図にプロットし, 回帰式を補正式とする。

以上の手順により, 補正式を作成した。図-5はVSRFのリードタイムが6時間のときの予測値の階級ごとの実績値にガンマ分布を適用したものである。階級に含まれる予測雨量が少なくと分布形状が不安定になるため, 分布をとるのはデータ数が15以上のときとした。図によると, 予測雨量の階級が大きくなるにつれ実績値のモードも大きくなり, 両者が対応しているのがわかる。

VSRF, GPVごとにリードタイム別に予測雨量の階級平均, 実績値のモードを相関図にプロットしたものを図-6に示す。図中, LTはリードタイムの意味で用いている。VSRFは1時間ごと, GPVはリードタイムが6,9,12,15,18,21,および24時間のときをプロットしている。図では, 予測階級が0-10mmの点をプロットしていないが, これは実績値のモードがマイナスとなったため使用に不適と判断したためである。また, 回帰式を黒色の実線で示した。平均的には, VSRFは予測雨量を0.8倍, GPVは1.6倍したものが実績値となることがわかる。VSRFは予測が実績値を過大評価しており, 逆にGPVが過少評価していることがわかる。

### b) 積算予測雨量の誤差の幅

次に予測値に対する実績値の分布に着目して誤差の幅を調べる。ここでは, 前述のガンマ分布を用いて, 実績雨量の70%が含まれる範囲を定めることで誤差の幅を評価する。70%の割合で実績値が出現する範囲は, ガンマ分布の確率密度関数 $f(x)$ を積分し, 次式を満足する $r_{min}$ (下限値)と $r_{max}$ (上限値)を求めればよい。

$$\text{下限値: } \int_0^{r_{min}} f(x)dx = 0.15 \quad (1)$$

$$\text{上限値: } \int_0^{r_{max}} f(x)dx = 0.85 \quad (1)$$

このようにして, VSRFはリードタイムが6時間の場合, GPVは24時間の場合について70%の出現範囲を求めた。その結果が図-7である。図は左にVSRFのリードタイムが6時間の場合, 右にGPVのリードタイムが24時間の場合を配置している。○印は実績値のモードで, ○印から

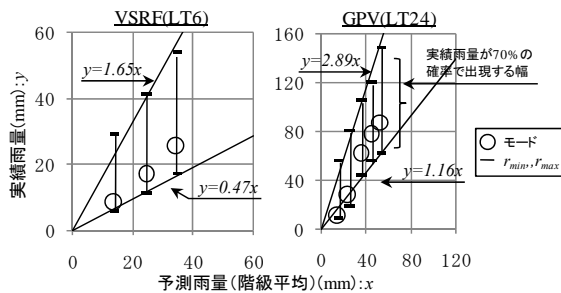


図-7 予測値に対する実績値の70%出現範囲

左:VSRF(LT6), 右:GPV(LT24)

表-2 洪水量到達前の流出率

事例	最大流入量 (m <sup>3</sup> /s)	最大時間雨量 (mm)	24時間積算実績雨量 (mm)	24時間積算実績流出高 (mm)	流出率
2000/09/02	125	9	68	5.3	0.08
2001/09/11	407	10	35	6.3	0.18
2002/10/02	165	15	73	4.4	0.06
2003/08/09	286	15	99	5.8	0.06
2005/08/22	238	15	79	6.2	0.08
2005/09/07	146	14	79	7.2	0.09
2006/08/18	381	26	106	7.9	0.07
2007/09/16	112	9	82	6.9	0.08
2008/08/04	104	12	53	5.6	0.11
2009/08/02	103	9	22	7.0	0.32
2010/08/12	164	12	57	8.4	0.15
2010/08/23	185	20	48	6.5	0.14
平均					0.12

上下に伸びた実線は実績値が70%の確率で出現していた範囲を示している。また、黒色の実線はそれぞれ式(1)、式(2)で求めた下限値、上限値で作成した回帰式である。この図より、VSRFの6時間積算予測雨量の場合、予測値を0.5倍～1.7倍、GPVの24時間積算予測雨量の場合は予測値を1.2倍～2.9倍した範囲に、70%の確率で実績雨量が出現することがわかった。

#### 4. 積算予測雨量を用いたダム放流操作

以上より、金山ダム流域における積算予測雨量の精度検証、予測誤差の評価ができた。そこで、積算予測雨量を用いたダムの事前放流操作方法について検討を行う。

##### (1) 活用水位の決定

本検討では、ダムの弾力的運用の目的を、発電電力量の増加としている。具体的には、洪水期である7月～9月の期間に流量0.5m<sup>3</sup>/sを終日放流する場合を考えた。この期間は、現況で6時～19時の間0.3m<sup>3</sup>/sの環境放流がなされている。よって新たに必要となる水量は、6時～19時の間にプラス0.2m<sup>3</sup>/s、19時～6時の間に0.5m<sup>3</sup>/s、これを7,8,9月の92日間放流し続けることになるので、約2,700千m<sup>3</sup>となる。この分を制限水位338.5mに上乘せし、活用水位は338.9mとした。

##### (2) 洪水量に至る24時間前の流出率の算定

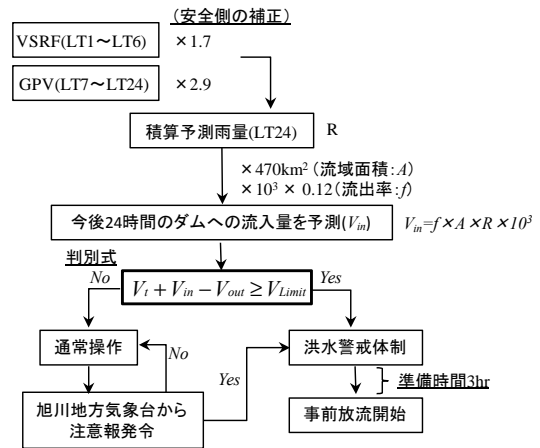


図-8 事前放流の操作シミュレーションのフロー

次に、積算予測雨量からダムへの流入量を予測するために、流出率の算定を行う。とくに、今回目的としているのは洪水前の流入量の予測であり、ダムへの流入が洪水量である80m<sup>3</sup>/sに至る24時間前の時点の、24時間積算実績雨量に対する24時間積算流出高の比を流出率として用いた。解析対象とした事例は、大規模出水時に治水容量を確保可能か検討することを考え、2000年から2010年のうち最大流入量が100m<sup>3</sup>/sを超えた事例を用いた。事例ごとに諸量をまとめたものを表-2に示す。この結果、12事例の流出率を平均して、流出率を0.12とした。

##### (3) 積算予測雨量を用いた放流操作シミュレーション

以上より、洪水量に至る24時間前の流出率を算定できたので、24時間積算予測雨量を用いた事前放流操作シミュレーションを行う。検討フローを図-8に示す。まず、降水の予測情報を、図-7の回帰式よりVSRFを1.7倍、GPVを2.9倍し積算予測雨量を求める。これを用いて以下の式でダムへの流入量を予測し、以下の判別式を用いて事前放流が必要かどうかを決定する。

$$\text{予測流入量: } V_{in} = f \times A \times R \times 10^3 \quad (3)$$

$$\text{通常操作: } V_i + V_{in} - V_{out} < V_{Limit} \quad (4)$$

$$\text{事前放流操作: } V_i + V_{in} - V_{out} \geq V_{Limit} \quad (5)$$

ここで、 $V_{in}$  : 今後24時間の予測流入量(m<sup>3</sup>)、 $f$  : 流出率(0.12)、 $A$  : 流域面積(470km<sup>2</sup>)、 $R$  : 24時間積算予測雨量(mm)、 $V_i$  :  $t$ 時刻の貯水量(m<sup>3</sup>)、 $V_{out}$  : 24時間の放流可能量(m<sup>3</sup>)、 $V_{Limit}$  : 制限水位338.5mの水量(m<sup>3</sup>)。金山ダムでは、洪水警戒体制に入ってから事前放流開始までに、職員召集や下流の警報、巡視等の準備時間に2時間を設定している。また操作規則上、下流の急激な水位の変動を防ぐため、放流開始後1時間迄はゲートの操作間隔を10分毎とし、1回の操作による最大放流を10m<sup>3</sup>/sとしている。これらを踏まえ、今回の検討では洪水警戒体制に移ってから3時間が経過した後、無害流量80m<sup>3</sup>/sを放流することとした。これにより、 $V_{out}$ を流量80m<sup>3</sup>/sで21時間放流したときの放流量とし、6,048千m<sup>3</sup>とした。検討は、貯水池計算、判別式ともに1時間ごとに計算を行う。通常操作の場合は、気象台から注意報が発令された場合に

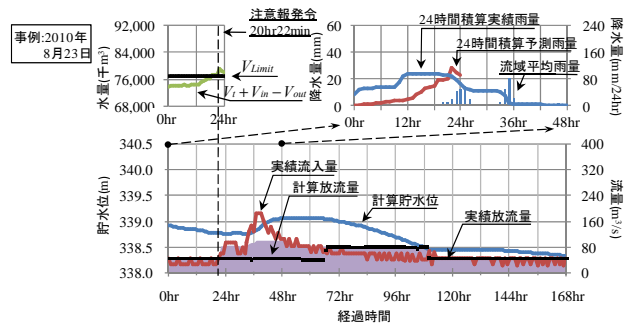
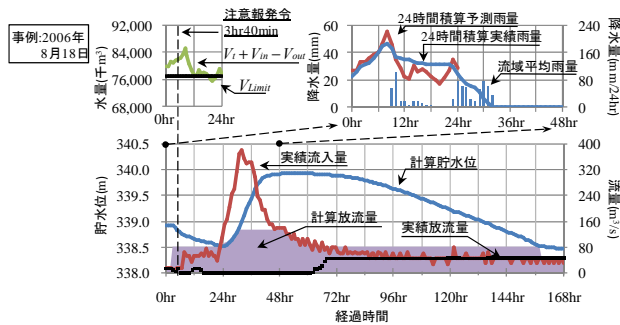


図-9 事前放流操作シミュレーション結果 左上：判別式，右上：降水量，下段：貯水池計算

洪水警戒体制に移るものとし、事前放流操作の場合はこの判別式のもとで洪水警戒体制に移行する。洪水警戒体制より3時間経過後も、継続して事前放流操作が必要と判別されていた場合、流量 $80\text{m}^3/\text{s}$ の放流を開始し、途中判別式によって通常操作と判別された場合は洪水警戒体制を解除するものとし、再度事前放流が必要と判別された場合は洪水警戒体制の準備時間(2hr)を設けるものとした。また事前放流により貯水位が制限水位まで下がった場合は、制限水位を超えないように放流量を決定した。すなわち、洪水量到達時に貯水位が制限水位 $338.5\text{m}$ 以下であれば、治水上の安全性を確保できたと判断する。

以上の操作を、降水の予測情報が得られ、かつ洪水期中の事例である7事例に対して適用し検討を行った(表-1, 表-2参照)。初期貯水位を活用水位である $338.9\text{m}$ とし、流入量が洪水量に至る24時間前から貯水池計算を開始する。流入量、放流量は実績に基づくものとし、判別式により事前放流操作となった場合は前述の通り放流量を変化させる。以上より検討を行った結果を図-9に示す。左には最大流入量が最も多かった2006年8月18日の事例、右には制限水位まで低下できなかった2010年8月23日の事例を示す。それぞれ、左上に判別式、右上に降水量、下段に貯水池計算を示している。判別式の図は、緑の実線を判別式の左辺、黒の実線を右辺としており、緑の実線が黒の実線を超えると事前放流操作となる。なお貯水池計算の図は、経過時間が0hrのときに初期貯水位 $338.9\text{m}$ を与えており、24hrに洪水量到達となっている。図によると、2006年の事例は計算開始直後から判別式により事前放流操作となっており、準備時間の後に事前放流 $80\text{m}^3/\text{s}$ を開始している。注意報の発令よりも早く事前放流を開始しており、その結果洪水量到達前に制限水位 $338.5\text{m}$ まで貯水位を低下させることができ、洪水に対する安全を確認できた。しかし2010年の事例では、洪水到達4時間前まで通常操作となっており、また注意報の発令も洪水量に至る約4時間前なので、事前放流を行うことができず治水容量を確保することができなかった。ここで、降雨特性について着目すると、2006年の事例は洪水量到達前の先行降雨が多いのに対し、2010年は急な降水によって洪水量に達しているのがわかる。これにより、2010年の事例は降水量の予測が困難となり、治水容量を確保することができなかった。

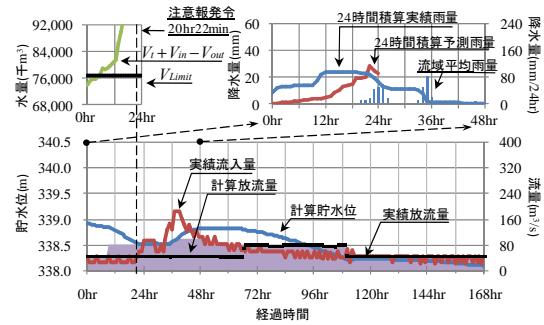


図-10 2010年の検証結果。(流出率=0.9)

事例	流出率					最大流入量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	治水容量の確保が 可能 → ○ 不可能 → × と表記
	0.12	0.30	0.50	0.70	0.90		
2005/8/3	×	×	○	○	○	89	治水容量の確保が 可能 → ○ 不可能 → × と表記
2005/8/22	○	○	○	○	○	238	
2005/9/7	○	○	○	○	○	146	
2006/8/18	○	○	○	○	○	381	
2008/8/3	×	×	○	○	○	104	
2010/8/12	○	○	○	○	○	164	
2010/8/24	×	×	×	×	○	185	

表-3 流出率と貯水池計算の関係

この対策として、流出率を $0.20$ 、 $0.25$ と $0.05$ ずつ大きくして降水に対する流入の応答速度を早くすることを考えた。その結果、2010年の事例では流出率を $0.9$ としたときに、判別式により事前放流操作が判定され、洪水前に治水容量を確保することができた。その結果を図-10に示す。また、すべての事例の貯水池計算の結果を表-3に示す。表は、流出率ごとに治水容量が確保可能だった事例を○、不可能だった事例を×として表記している。流出率を $0.12$ とした場合では3事例が治水容量を確保できなかったが、 $0.5$ とした場合では2事例が確保可能となり、 $0.9$ とした場合に全ての事例で洪水に対する安全性を確認できた。しかし、積算予測雨量がそれほど大きくない場合でも事前放流を行う操作になるので、操作頻度が増加して管理上のストレスが大きくなる可能性がある。最適なダム管理には、降水の予測情報をより高精度化する他、総流入量を的確に予測する手法や事前放流方法の検討を行う必要があると考える。

## 5. 発電電力量の試算

以上より活用容量を増量させても洪水に対する安全性を確認できたため、確保した水量を用いて小水力発電を

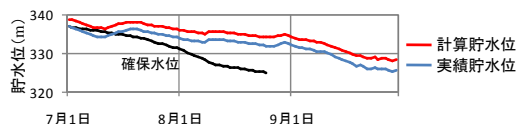


図-11 2002年の貯水位計算結果

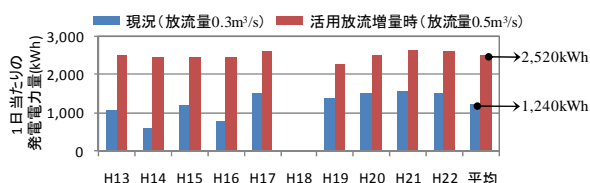


図-12 1日当たりの発電電力量の平均値

実施した場合の発電電力量の試算を行う。

### (1) 発電電力量の試算方法

水力発電による発電出力および発電電力量は以下の式で表わされる。

$$\text{発電出力} : P = \rho g Q H \eta \quad , \quad \text{発電電力量} : E = P T \quad (5)$$

ここで、 $P$ は発電出力(W)、 $\rho$ は水の密度( $1,000\text{kg/m}^3$ )、 $g$ は重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ )、 $Q$ は流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $H$ は落差(m)、 $\eta$ は水車と発電機の効率を合わせた総合効率、 $E$ は発電電力量(Wh)、 $T$ は発電を行った時間(h)である。ここで、落差は貯水位と小放流設備の放流口の標高(300m)との差とした。また総合効率 $\eta$ は、ハイドロバレー計画ガイドブック<sup>6)</sup>を参考にして、本研究では最低でも発電可能な電力量を試算する目的で $\eta = 0.615$ とした。

### (2) 貯水位および発電電力量の試算結果

上述の式を用いて発電電力量を試算するため、まず貯水位の計算を行う。融雪出水を用いて活用容量は確保できるものと仮定し、毎年7月1日の貯水位を338.9mとした。流入量、放流量は管理月報のデータを使用し、日単位で貯水池計算を行った。小放流の流量は終日 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ とした。その結果を図-11に示す。図は実績の貯水位と計算貯水位を示しており、過去11年で最も厳しい渇水年であった2002年の結果を示している。図を見ると、実績では確保水位を下回るような年でも、7月1日に水量を確保できれば確保水位を下回らずに運用できることがわかる。

次に計算で得られた貯水位を用いて発電電力量の試算を行った。その結果を図-12に示す。図は7月～9月の合計の発電電力量を発電を行った日数(92日)で割ったもので、1日当たりの発電電力量を示している。図より、期間中の1日当たりの発電電力量は平均で約2,500kWhとなることがわかった。この評価のため、一般家庭の消費電力量との比較を行った。須藤ら<sup>7)</sup>の報告を参考に、一般家庭の一世帯当たりの1日の電力消費量を15kWhとして換算した結果、1日当たり約170世帯の消費電力を賅うことができる試算結果となる。現況の放流状況で発電した場合は約1,200kWhで、世帯数に換算すると約80世帯となり、比較すると約2倍の発電電力量となる。また、金山ダムでは水力発電により年間83,592MWhの電力を発

電しており、1日当たりに換算すると約229,000kWhとなる。今回検討した小水力発電はこれの約1%に当たる。

## 6. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 金山ダム流域において、積算予測雨量が実績値と高い相関性を有することを示した。
- 2) 実績値の出現範囲を70%としたときの予測雨量の誤差の幅を明らかにした。
- 3) 積算予測雨量を用いたダムの事前放流操作方法により、洪水前に治水容量を確保することができ、洪水に対する安全性を確認した。
- 4) ダムの弾力的運用による活用容量を増量し、7月～9月の小放流量を $0.5\text{m}^3/\text{s}$ としたとき、1日当たり約2,500kWhの発電電力量が得られることがわかった。

以上より、積算予測雨量に基づくダムの弾力的運用が、小水力発電に利用する水量の確保に有効な手法であり、金山ダムにおける小放流を利用した小水力発電の可能性が示唆されたと考える。今後の課題として、洪水予測手法の改善や他事例への適用性を検討していきたい。

謝辞：本研究の一部は学術研究助成基金助成基盤研究(C)(課題番号23560602)と平成24年度河川整備基金(助成番号 24-1221-001)の助成を受けた。また、北海道開発局金山ダム管理支所よりデータ・資料の提供を頂いた。ここに記して謝意を示す。

### 参考文献

- 1) 林下直樹, 中津川誠, 川村一人: 空知川流域を対象とした小水力発電の可能性, 土木学会北海道支部論文報告集, 68号, B-32, 2012
- 2) 下坂将史, 呉修一, 山田正, 吉川秀夫: 既存ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案, 土木学会論文集B, Vol65, No.2, 106-122, 2009.
- 3) 白谷友秀, 中津川誠: 積算予測雨量に基づいた融雪期におけるダムの洪水調節機能の向上について, 土木学会論文集B, Vol.66, No.3, 268-279, 2010.
- 4) 国土交通省河川局河川環境課: ダムの弾力的管理試験の手引き(案), 2003.
- 5) 和田一範, 川崎将生, 富澤洋介: 河川の高水管理における予測雨量情報の適用性に関する考察, 水文・水資源学会誌, Vol.18, No.6, pp.703-709, 2005.
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁, (財)新エネルギー財団: ハイドロバレー計画ガイドブック, p.3-4, 2005.
- 7) 須藤勇二, 川辺明子, 中村和正: 北海道の農業水利施設における小水力発電の賦存量と発電原価の試算, 寒地土木研究所月報, No.699, p.12-17, 2011.

(2012. 9. 30受付)